

## WILTMETER® - Aplicações e usos



ISSN 1518-7179

Outubro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

*Embrapa Instrumentação*

*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Documentos*** 53

## **WILTMETER® - Aplicações e usos**

Marcos David Ferreira  
Adonai Gimenez Calbo

Embrapa Instrumentação  
São Carlos, SP  
2010

**Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:**

**Embrapa Instrumentação**

Rua XV de Novembro, 1452  
Caixa Postal 741  
CEP 13560-970 - São Carlos-SP  
Fone: (16) 2107 2800  
Fax: (16) 2107 2902  
www.cnpdia.embrapa.br  
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Dr. João de Mendonça Naime  
Membros: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,  
Sandra Protter Gouvea,  
Dr. Washington Luiz de Barros Melo  
Valéria de Fátima Cardoso  
Membro Suplente: Dr. Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto  
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso  
Tratamento de ilustrações: Valentim Monzane  
Foto Capa:  
Editoração eletrônica: Camila Borges e Valentim Monzane

**1ª edição**

1ª impressão (2010): tiragem 300

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.**

**Embrapa Instrumentação**

---

F383w Ferreira, Marcos David  
WILTMETER®: aplicações e usos. / Marcos David Ferreira, Adonai  
Gimenez Calbo. -- São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2010.  
00 p. -- (Embrapa Instrumentação. Documentos , ISSN 1518-7179; 53).

1. Horticultura. 2. Folhosas. 3. Turgescência. 4. Qualidade. 5. Mensuração  
objetiva. 6. Pós-Colheita. 7. Fisiologia. 8. Instrumentação. I. Calbo, Adonai  
Gimenez. II. Título. III. Série.

CDD 21 ED 635.5

---

© Embrapa 2010

## **Autores**

### **Marcos David Ferreira**

Engenharia Agrônômica, D. Sc., Pesquisador  
Embrapa Instrumentação,  
C.P. 741, CEP 13560-970,  
São Carlos, SP.  
[marcosferreira@cnpdia.embrapa.br](mailto:marcosferreira@cnpdia.embrapa.br);

### **Adonai Gimenez Calbo**

Engenharia Agrônômica, Ph. D., Pesquisador  
Embrapa Instrumentação,  
C.P. 741, CEP 13560-970,  
São Carlos, SP.  
[adonai@cnpdia.embrapa.br](mailto:adonai@cnpdia.embrapa.br);

# **Apresentação**

A conservação da qualidade pós-colheita de hortaliças, sempre foi um grande desafio, em especial, em um país de dimensões continentais, com grande movimentação de produtos de um local para outro. A qualidade das hortaliças, em especial das hortaliças de folhas, está relacionada à quantidade de água preservada no produto. Hortaliças mais túrgidas apresentam um melhor apelo para compra junto aos consumidores. A mensuração objetiva da turgescência em folhosas é uma tarefa difícil e em geral demorada, sendo desta forma de difícil aplicação no processo de comercialização. O equipamento Wiltmeter é uma importante alternativa para estas medições, sendo uma avaliação objetiva, precisa, prática e rápida. No presente documento, buscou-se comparar este equipamento as mensurações tradicionais utilizadas em fisiologia pós-colheita, também como demonstrar em maior detalhe a sua aplicação para mensuração da turgescência em diversos ambientes: laboratório, durante o processo de comercialização no ETSP da CEAGESP, em supermercados, quitandas e feiras livres. Também, buscando-se a avaliação junto aos usuários. Desta forma, este documento pode servir como referencial no uso do equipamento Wiltmeter para folhosas e também como modelo para outros produtos, nos quais a folha seja a parte mensurada.

Luiz Henrique Capparelli Mattoso  
Chefe Geral

# Sumário

Introdução .....	9
Procedimento Experimental .....	10
<i>Materiais</i> .....	10
<i>Métodos</i> .....	10
Resultados e Discussão .....	12
<i>Espectros de UV-Visível</i> .....	12
Resposta dos Sensores em Nariz Eletrônico .....	13
Conclusões .....	15
Referências .....	15

# WILTMETER® - Aplicações e usos

Marcos David Ferreira  
Adonai Gimenez Calbo

## Introdução

Para as folhosas a manutenção da turgidez, ausência de murcha, é parâmetro mandatório de qualidade. Nestes órgãos com elevado teor de água (>90%) a perda de água é mais rápida do que nas hortaliças volumosas, porque as folhas possuem elevada relação superfície/volume (KAYS, 1991). Poucas referências foram recuperadas sobre sistemas objetivos de medir a firmeza dependente da hidratação, murcha/turgidez celular, de folhosas. Assim, mundialmente, produtores e comerciantes continuam a utilizar mensurações táteis subjetivas nas quais a resposta do produto pressionado ou flexionado é indicativa da firmeza. Newman et al. (2005) descrevem um texturômetro no qual segmentos de folha de alface (40 x 3 mm), que eram fixadas por garras e a leitura da força era registrada, enquanto ocorria tracionamento na velocidade de 0,5 mm.s<sup>-1</sup>. Este método é interessante para avaliar murcha porém, parece laboratorial, e envolve resposta não linear dependente da espessura da folha. Heathcote et al. (1979) descreveram um instrumento portátil para mensuração da hidratação, constituído de uma ponta de prova com cavidade circular sobre a qual a folha repousa sendo deformada por uma haste que atua sobre a folha, no centro da cavidade. Turner e Sobrado (1983) avaliando este equipamento relataram que a sensibilidade à espessura da folha é uma importante limitação metodológica. Por outro lado, a sonda de pressão tem sido referência (HUSKEN et al., 1978) na medição da pressão de turgescência celular. Segundo este método, assim que a célula é penetrada por um micro capilar, contendo óleo de baixa viscosidade, forma-se um menisco água/óleo que é empurrado pela pressão celular em direção ao interior do tubo capilar. No sistema o capilar é fixado em câmara com transdutor de pressão e um êmbolo. Para medir a pressão celular o êmbolo é então apertado com um parafuso micrométrico de modo que, empurrado, o óleo retorna o menisco água/óleo à posição inicial, estabelecendo-se assim a condição na qual a pressão lida é tomada como medida válida da pressão celular. O método da sonda de pressão, no entanto, por ser difícil tem sido utilizado em poucos laboratórios.

O simples e portátil instrumento denominado Wiltmeter® foi desenvolvido para medir a murcha/turgescência das folhas. Este instrumento usa uma placa de aplanção especial através da qual escoar um fluxo de ar gerado por um gradiente de pressão de 6 kPa. Para a mensuração a folha é pressionada por uma membrana flexível contra a placa de aplanção até que o amassamento iguale a pressão de turgescência celular e obstrua a passagem de ar, condição em que se lê a pressão com que a folha é comprimida (CALBO et al., 2008; CALBO et al., 2010).

### **OBJETIVOS:**

#### *Objetivo Geral*

Utilizar o Wiltmeter® e técnicas tradicionais para avaliar a hidratação de hortaliças tendo-se em vista a definição de valores numéricos simples de qualidade, os quais tenham potencial de uso no processo de comercialização.

#### *Objetivos Específicos*

Calibrar Wiltmeter® com a sonda de pressão;  
Definir métodos confiáveis de avaliação da hidratação de hortaliças;  
Acompanhar firmeza de hortaliças por meio do Wiltmeter®;  
Definir valores limiares objetivos de firmeza/turgor (kPa) murcha e qualidade comercial;  
Acompanhamento da hidratação das folhosas durante comercialização utilizando os limiares de turgescência;  
Validação técnica e do equipamento junto a comerciantes e consumidores com vistas à verificação da aceitabilidade de folhosas com pressão de turgescência diferente dos limiares definidos;  
Avaliar o potencial prático do limiar de turgescência para alface minimamente processada.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em duas etapas. Na etapa 1 foi realizada, por meio de testes e ensaios em laboratório, a avaliação do equipamento Wiltmeter e determinação de limiares. Na etapa (2) foi desenvolvida na cadeia de comercialização, com estudo de validação dos valores de pressão de turgescência e limiares de qualidade obtidos com o Wiltmeter (validação técnica) e também avaliando-se a aceitabilidade de uso do equipamento (validação do equipamento) junto a potenciais usuários. A validação técnica foi realizada por meio de leituras durante a comercialização em supermercados e sacolões na região de São Carlos-SP, tanto para o produto inteiro como minimamente processado e também no ETSP, administrado pela CEAGESP. A validação do equipamento foi realizada junto a potenciais usuários, pesquisadores, estudantes, controladores de qualidade, etc...



### *Etapa 1. Ensaios em laboratório*

Os produtos, alface (tipo americana, lisa e crespa), couve e chicória foram avaliados para pressão de turgor, perda de massa (%), teor relativo de água e firmeza com Wiltmeter®. As hortaliças foram colhidas diretamente na zona rural de São Carlos, e transportadas imediatamente para o laboratório da Embrapa Instrumentação envolvidas por um filme plástico de polietileno de baixa densidade. O produto foi uniformizado em tamanho, formato e coloração, baseando-se no Programa Brasileiro de Normas e Padrões da, sendo que no caso das folhosas foram selecionadas folhas de tamanho médio, que representem o conjunto.

Inicialmente o equipamento Wiltmeter® foi calibrado com a sonda de pressão (HUSKEN et al., 1978; CALBO e PESSOA, 1999) para obtenção do fator de ajuste leitura/pressão de turgescência característico de cada hortaliça. Após esta fase, foram testados outros métodos (Perda de Massa, Teor Relativo de Água) para avaliação da hidratação do produto para utilização como referência. Cada método mencionado foi comparado com o equipamento Wiltmeter® para a determinação do estado do produto desde a chegada ao laboratório até o descarte deste. Estes estudos comparativos de métodos de avaliação mecânica e hídrica das hortaliças durante a desidratação foram integrados mediante a definição de limiares de pressão de turgescência/firmeza que assegurem um limite mínimo de qualidade aceitável para as hortaliças estudadas.

### *Etapa 2. Cadeia de Comercialização. Validação da técnica e do equipamento.*

#### *Validação da Técnica*

A validação da técnica do Wiltmeter® foi realizada na CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), e em supermercados e estabelecimentos de comercialização de frutas e hortaliças (quitandas) de São Carlos-SP. Os produtos selecionados para a avaliação foram os mesmos utilizados em laboratório, alface americana, alface crespa, alface lisa, couve e chicória; na forma inteira e alface minimamente processada.

Na CEAGESP, o equipamento foi testado, para produtos inteiros, em permissionários e no varejão. Os permissionários são produtores e/ou comerciantes atacadistas que recebem um termo de Permissão Remunerada de Uso para comercializar em espaços delimitados no Entrepósito da Capital e nas unidades do interior. Os varejões, por sua vez, são semelhantes às feiras-livres e são realizados três vezes por semana no próprio Entrepósito, com garantia de qualidade e controle de preços (CEAGESP, c2004). As medições com Wiltmeter® foram realizadas na própria CEAGESP e abrangeram produtos inteiros: alface americana, alface crespa, alface lisa, couve e chicória frescas, ou seja, colhidos no mesmo dia, e também colhidos no dia anterior ao da avaliação. As avaliações foram feitas no período da manhã no permissionário, e à tarde no varejão.

No setor de hortaliças, frutas, legumes e verduras (HFLV) em um supermercado de São Carlos-SP foram avaliados produtos inteiros e minimamente processados. Para os produtos inteiros, as avaliações foram realizadas em três horários distintos (8:30h, 13:30h e 17:30h) durante o mesmo dia, e os itens foram alface americana, alface crespa, alface lisa, couve e chicória. Para minimamente processados, as embalagens foram escolhidas de diferentes fornecedores, com datas de validade diversas, para os produtos alface crespa e mix alface crespa com alface lisa.

Nos mercados varejistas de frutas e hortaliças, conhecidas como Quitandas ou Sacolões, foram avaliados os produtos inteiros alface americana e couve, também coletados nos mesmos horários citados ao longo do dia.

Nos dois locais de comercialização os produtos foram escolhidos ao acaso, e aferida a temperatura de armazenamento. Os produtos acima citados foram adquiridos nos estabelecimentos comerciais e transportados imediatamente para o laboratório da Embrapa Instrumentação para a realização das medições, onde foram colocados em bancadas e cobertos com tecido de algodão para que a perda de água fosse minimizada.

Alface americana, alface crespa, alface lisa e chicória tiveram as folhas externas do maço retiradas e as folhas medianas selecionadas ao acaso para as medições com o Wiltmeter®. Para a couve, que tem as suas folhas destacadas individualmente para a comercialização, a seleção das folhas para a medição priorizou aquelas que se encontravam mais protegidas do ambiente. Após a seleção das folhas, foram realizadas as leituras no equipamento Wiltmeter®.

#### *Validação do Equipamento*

Conjuntamente a realização da validação técnica, o equipamento Wiltmeter® foi avaliado por um questionário aplicado em dias e cidades diferentes, nos meses de Julho a Setembro de 2008.

As avaliações do Wiltmeter® foram feitas por profissionais, estudantes, usuários potenciais e funcionários de várias áreas e de diferentes instituições. Um grupo de 20 pessoas (45% professores de universidades públicas,



15% pesquisadores, 15% técnicos do centro de controle de qualidade da CEAGESP e os 25% restantes alunos de graduação e pós-graduação de cursos agrícolas) testou e emitiu a sua opinião sobre o equipamento. Os avaliadores responderam as questões abaixo relacionadas e a sua identificação era opcional: (1) Enumere alguns pontos positivos do Wiltmeter<sup>®</sup>; (2) Enumere alguns pontos negativos do Wiltmeter<sup>®</sup>; (3) Quais as aplicações do Wiltmeter<sup>®</sup> você visualiza?; (4) Você teria algumas sugestões sobre o instrumento?; (5) Dúvidas sobre o funcionamento do Wiltmeter<sup>®</sup>.

#### **Análises:**

##### **Perda de Massa (%).**

A perda de massa após a colheita calculada pela equação 1 (KAYS, 1991) foi uma aproximação prática da verdadeira desidratação relativa sofrida pela hortaliça.

$$PM = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad \text{equação 1}$$

onde:

$PM$  = perda de massa [%];

$m_i$  = massa inicial no momento da colheita no dia 0 (zero), [g];

$m_f$  = massa nos dias 1, 3, 5 e 7 [g];

##### **Teor Relativo de Água (%).**

Para avaliar a hidratação do produto sem necessária referência à quantidade de água no momento da colheita mediu-se o teor relativo de água, o que é muito usado em fisiologia vegetal (SLAVIK, 1974). Para mensuração do teor relativo de água, pesam-se segmentos de hortaliças (massa inicial,  $m_0$ ), os quais são colocados em câmara úmida, entre folhas de papel toalha impregnados de água, até a absorção de água se tornar praticamente nula, por exemplo em 24 horas, quando se mede a massa hidratada ( $m_H$ ). Por fim, coloca-se a amostra em estufa até obter massa seca ( $m_S$ ) a peso constante. O teor relativo de água ( $R^*$ ) é então calculado com a expressão:

$$R^* = \frac{100(m_0 - m_S)}{(m_H - m_S)} \quad \text{equação 2}$$

As estimativas de  $R^*$  evidentemente não são precisas para órgãos em crescimento ativo, como para folhas da alface, porque o peso aumenta e não para de aumentar ao longo do tempo na fase de hidratação. Por esta razão neste trabalho o método base descrito por Slavik (1974) é modificado para que a hidratação ocorra em poucos minutos. Para isto, folhas de alface (americana, crespa e lisa), couve e chicória foram inicialmente pesados (massa inicial,  $m_0$ ) e infiltrados com água a vácuo. O vácuo foi aplicado durante 2 minutos e a etapa de infiltração, com os segmentos imersos em água foi de 15 minutos. A matéria fresca hidratada ( $m_H$ ), no entanto, foi estimada por diferença, visto que a infiltração de água a vácuo também causa o preenchimento dos volumes gasosos intercelulares com água, o que inflaria o valor de  $m_H$ . Assim, conforme relatam Calbo e Nery (1995) a massa hidratada  $m_H$  é igual a massa inicial do produto vezes a razão entre o volume final do produto hidratado ( $v_H$ ) e o volume do produto antes da hidratação por infiltração ( $v_0$ ). Deste modo, substituindo  $m_H$  por  $(m_0 v_H/v_0)$  obtêm-se a equação 3 que foi utilizada para calcular o teor relativo de água.

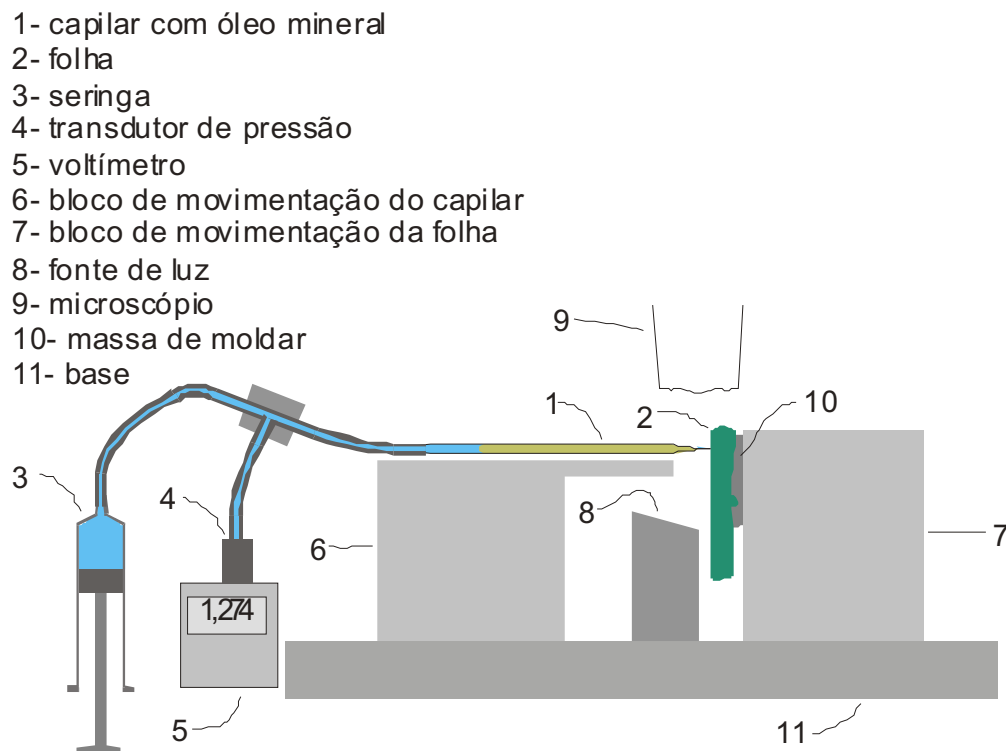
$$R^* = \frac{100(m_0 - m_S)}{\left( \frac{m_0 v_H}{v_0} - m_S \right)} \quad \text{equação 3}$$

Na equação 3,  $v_H$  é o volume do segmento do produto hidratado e  $v_0$  é o volume do segmento sob estudo antes da hidratação, ambos volumes medidos por pesagem hidrostática (Calbo e Nery, 1995).

##### **Pressão de Turgescência.**

Para aferir o funcionamento do Wiltmeter<sup>®</sup> utilizou-se o método da sonda de pressão (HUSKEN et al. 1978). No método da sonda de pressão um capilar preenchido com óleo é inserido na célula da folha, e imediatamente o fluido da célula em contato com o óleo forma um menisco água/óleo que é empurrado através do capilar pela pressão celular (Figura 1). No sistema, o capilar é fixado em câmara com transdutor de pressão e um êmbolo. Para medir a pressão celular o êmbolo é então movimentado por um parafuso micrométrico de modo a retornar

o menisco água/óleo para a posição inicial, condição na qual a pressão celular é medida. Capilares de 140 mm comprimento com ponta cônica de 5 m foram produzidos em número suficiente com o seguinte procedimento: Tubos de borosilicato com 1 mm de diâmetro interno por 700 mm de comprimento foram esticados sobre chama de modo que o diâmetro interno fosse reduzido para 20 m. A seguir, com auxílio de esticador de capilares com anel de aquecimento produziu-se a ponta cônica com diâmetro externo de 5 a 10 m. Após lixar as pontas destes capilares em lixador o diâmetro interno da ponta atingiu 2 m. Colocados em um frasco com óleo mineral os capilares encheram-se de óleo por capilaridade. A seguir, a ponta de 1,5 mm do capilar foi acoplada por tubo de PVC flexível e uma bifurcação a um transdutor de pressão calibrado e a uma seringa com parafuso para ajuste da pressão aplicada. Para introduzir a folha no capilar, mantido estacionário sob microscópio, utilizou-se um manipulador com parafuso de movimentação horizontal. A fixação da folha neste manipulador ocorreu por adesão a uma camada de massa de plástica.



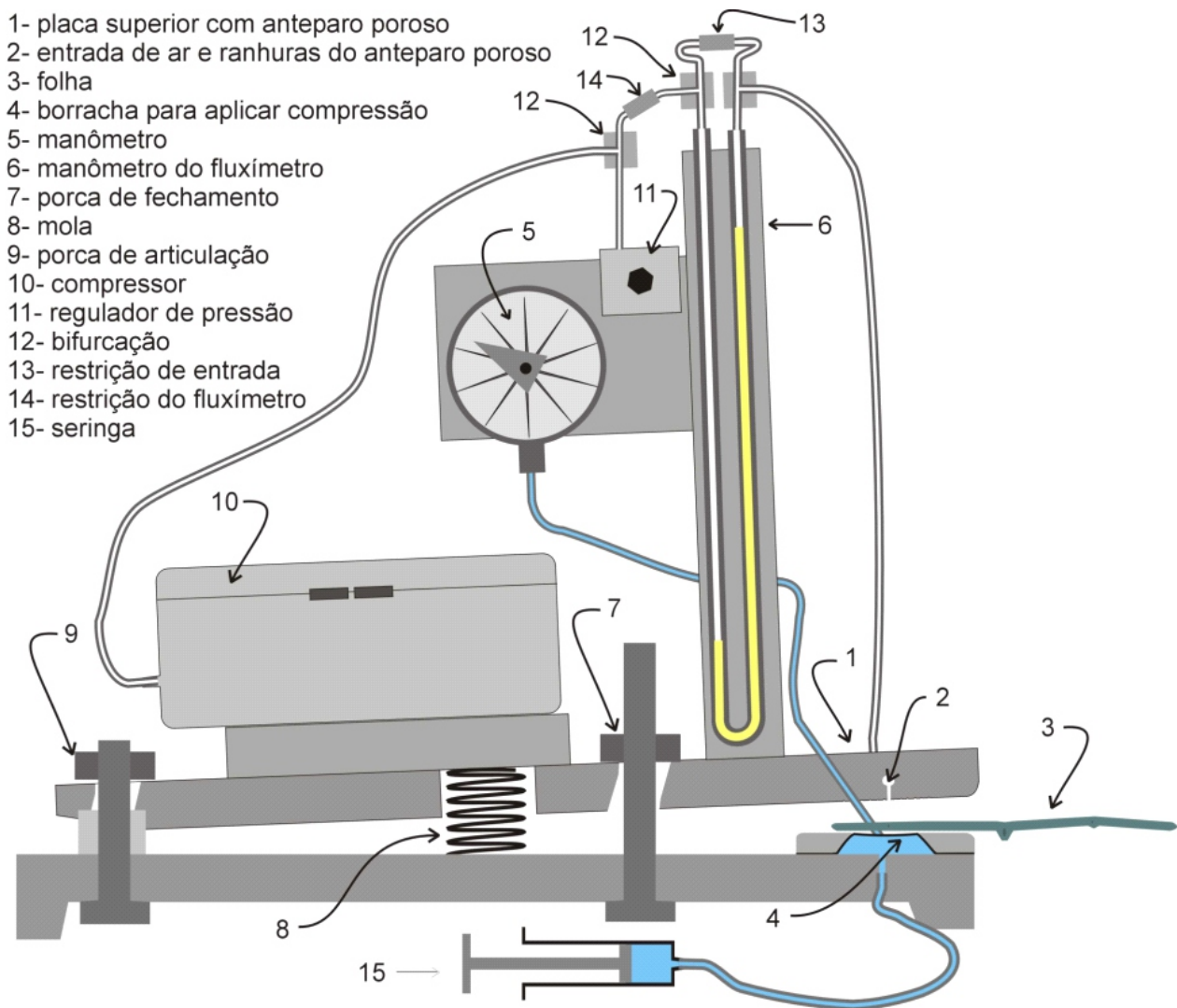
**Figura 1.** Esquema de uma sonda de pressão para medir a pressão de turgescência celular.

#### *Firmeza medida com o Wiltmeter®.*

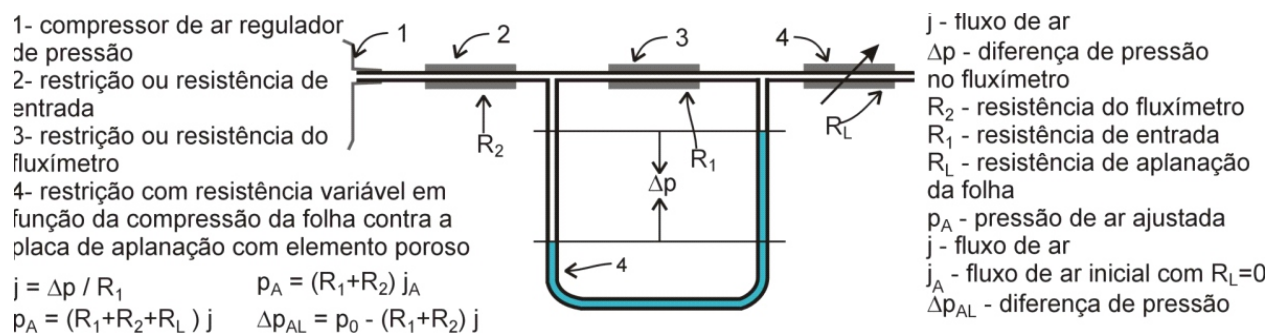
A firmeza dependente da pressão de turgescência foi mensurada utilizando o equipamento Wiltmeter® (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2009, CALBO et al., 2010), o qual tem como princípio de funcionamento a técnica de aplanção (Figura 2). Para a medição o órgão é pressionado progressivamente, contra o elemento poroso, por uma membrana flexível, até que o fluxo de ar através do elemento poroso seja interrompido pelo aplainamento da superfície do órgão. O critério de medida de firmeza da hortaliça com Wiltmeter® é a menor pressão que comprimindo a folha contra o anteparo poroso interrompe o fluxo de ar no instrumento.

O Wiltmeter® (Figura 2) é um instrumento para medir a firmeza de folhas e fatias de órgãos mediante uma nova extensão do método da pressão de aplanção (CALBO e NERY, 1995). No sistema uma placa de aplanção (1) contendo um elemento poroso (2) permeado por um fluxo de ar é comprimida contra a folha. O esquema e as equações que de ajuste de pressão e fluxo no Wiltmeter® são detalhadas na Figura 3.

A leitura da pressão de aplanção, obtida em ensaios de compressão (Figura 2), é a menor pressão da folha contra a placa que bloqueia o fluxo de ar mediante o fechamento dos poros pelo tecido aplainado. A compressão da folha (3) contra a placa de aplanção (1) é feita por uma membrana flexível (4) que é pressionada com uma seringa (15). Enquanto a folha é progressivamente comprimida, observa-se a redução da passagem do ar que permeia o elemento poroso (2) da placa de aplanção sobre a folha (3) em um fluxímetro (6). Os procedimentos destes ensaios de compressão para o método completo são descritos a seguir.



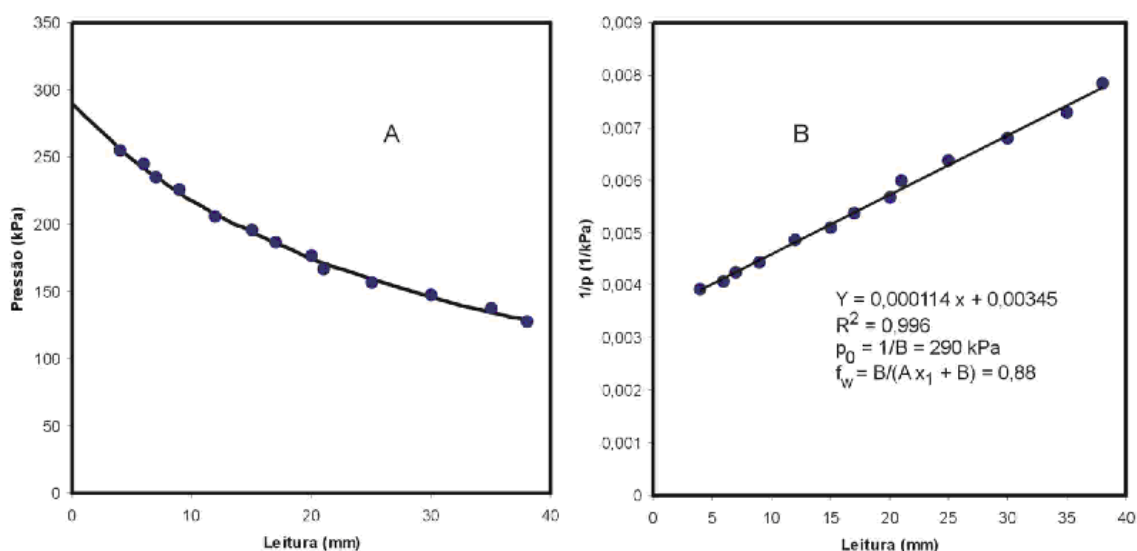
**Figura 2.** Esquema de um Wiltmeter ilustrando a placa inferior com membrana de borracha para apertar a folha contra o anteparo poroso, ranhurado, da placa superior. Compressor, sistema de ajuste de fluxo de ar para fluir sobre a folha através do anteparo poroso, seringa para aplicar compressão e manômetro para ler a pressão aplicada completam o sistema portátil.



**Figura 3.** Esquema detalhado das restrições à passagem de ar do Wiltmeter. Em alguns sistema a resistência  $R$  não é instalada.

**Procedimentos:** 1- Desapertar a válvula de controle de pressão de ar (11); 2- Ajustar o nível de etanol do manômetro (6); 3- Ligar o compressor de ar (10); 4- Ajustar a pressão na válvula de controle de pressão de ar (11) até que a leitura no manômetro do fluxímetro (6) seja de 200 mm; 5- Prender a folha com o parafuso (7) sob a placa de aplanção (1), sem apertar; 6- Aumentar a pressão aplicada sobre a folha pressionando progressivamente a seringa até que a leitura no manômetro do fluxímetro (6) seja 16 mm, anotar a compressão ( $p$ ) da folha lida no manômetro (5); 7- repetir o procedimento e anotar a compressão da folha também com as leituras de 12, 8 e 4 mm no fluxímetro. Notar que os valores de altura sugeridos podem ser substituídos por outros preferencialmente sempre menores que 50 mm no manômetro em U (6); 8- Ajustar uma regressão linear ( $1/p = A x + B$ ) entre o inverso dos valores de compressão anotados ( $1/p_i$ ) nos respectivos fluxos de ar ( $x_i$ ), tomados como a altura de coluna de etanol no fluxímetro (4, 8, 12 e 16 mm); 9- Calcular a firmeza ( $p_0$ ) com a expressão  $p_0 = 1/B$ , onde  $B$  é o intercepto da regressão linear. Um manômetro de 600 kPa (5) é adequado.

**Fator de Wiltmeter<sup>®</sup> ( $f_w$ ):** O fator, necessário para uso no método rápido, para uma hortaliça e condição de uso é dado pela equação  $f_w = B / (x_1 B + A)$ . O valor de  $x_1$  utilizado foi de 4 mm (fluxo < 1,8 ml/min), valores de  $x_1$  menores tornam a leitura mais lenta e insegura. A restrição de entrada (14), melhora a sensibilidade do instrumento, mediante o ajuste da pressão de ar  $p_A$  (Figura 2), no regulador de pressão (11)(Figura 4), em valor mais elevado 10 kPa. Com o uso da restrição de entrada (13) o valor de  $f_w$  se aproxima mais de um. Os fatores de Wiltmeter encontrados foram: alface americana, 0,94; alface crespa, 0,88; alface lisa, 0,67; couve, 0,94; chicória, 0,97.



**Figura 4.** Curvas de pressão versus leitura no fluxímetro do Wiltmeter<sup>®</sup> para couve. A-Dados de pressão ( $p$ ) versus a leitura no fluxímetro. B-Dados da pressão invertida ( $1/p$ ) versus leitura no fluxímetro. No ajuste linear a inclinação (A) e o intercepto (B) são usados para calcular o fator de correção  $f$  e a firmeza da folha  $p$ .

Calibração Wiltmeter<sup>®</sup> vs. Sonda de Pressão.

Dados de firmeza e de pressão de turgescência de folhas com diferentes hidratações foram medidas e uma regressão linear entre os dois sistemas possibilitou a conversão da firmeza medida com o Wiltmeter<sup>®</sup> em valores corrigidos de pressão de turgescência. Folhas de alface (americana, lisa e crespa), couve e chicória foram deixadas individualmente murchando sobre uma bancada até as medições com a sonda de pressão ou com o Wiltmeter<sup>®</sup>, ao acaso. O ambiente dos ensaios teve temperatura de 22,2 °C e umidade relativa de 60%. Cada dado de pressão de turgescência celular correspondeu à média de pelo menos três medidas. Com a sonda de pressão foram comuns dificuldades como capilares com pontas que rompem a parede celular, de modo que a pressão não é mantida, e a ocorrência de entupimento da ponta do capilar, situações que forçaram frequentes trocas de capilares na sonda pressão. Os pares de pontos obtidos foram então sujeitos a regressão linear.

*Curva de resposta entre pressão de turgescência e índices de hidratação.*

As hortaliças foram submetidas a perda de água natural em laboratório, sendo realizadas medições simultâneas de pressão de turgescência, dada pela leitura do Wiltmeter<sup>®</sup> vezes o fator de calibração de cada hortaliça. Após cada medição de turgescência, foi realizada a respectiva pesagem e determinação de volume das folhas para ao final calcular os índices de hidratação com o uso das equações 2 e 3. Deste modo foram estabelecidas as curvas de resposta da pressão de turgescência de acordo com este critério.

#### *Limiares de pressão de turgescência.*

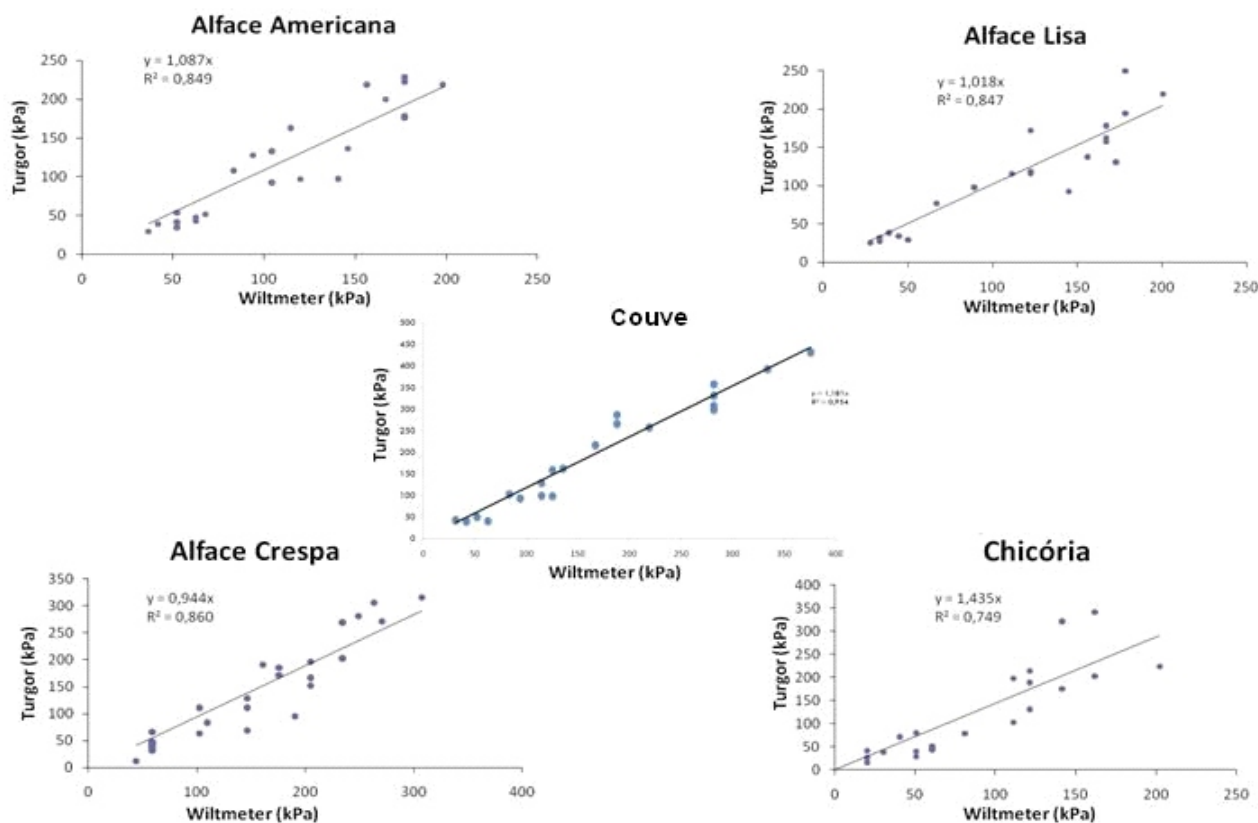
Os resultados dos experimentos anteriores relacionando respostas mecânicas de pressão de turgescência em função de medidas de hidratação de hortaliças foram utilizados para uma interpretação agregada. Nesta interpretação agregada foram definidos valores numéricos limiares de pressão de turgescência que se mede rapidamente com o Wiltmeter<sup>®</sup>. Considerou-se com padrão limiar de pressão de turgescência o valor de 50% da pressão de turgescência máxima estimada no Wiltmeter para cada uma das folhosas estudadas nesta pesquisa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

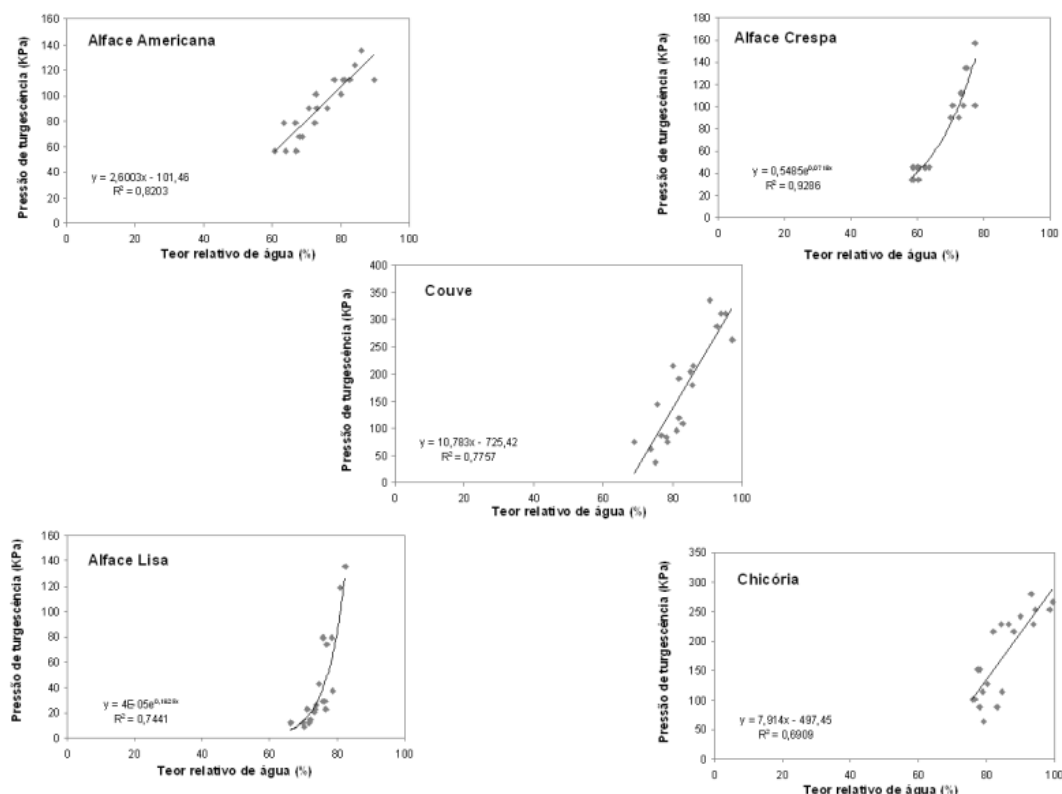
#### *Pressão Wiltmeter vs. Sonda de Pressão.*

Observa-se que a pressão de turgescência celular de alface (americana, crespa e lisa), couve e chicória (Figura 5) medidos com a sonda de pressão (HUSKEN et al., 1978) aumentou de maneira proporcional, linear, conforme aumentou a leitura no Wiltmeter<sup>®</sup>, também em unidade de pressão, que no caso é a denominada pressão de aplanação que tem sido medida em hortaliças não folhosas com aplanadores (CALBO e NERY, 1995). As leituras próximas a zero foram de folhas murchas enquanto as leituras maiores são de folhas não sujeitas a desidratação. As medições com a sonda de pressão são difíceis, envolvem a inserção de micro capilares em diferentes tipos de células e em alguns casos estes capilares sofrem entupimentos. Adicionalmente, a fabricação dos capilares é trabalhosa e a montagem dos capilares no sistema também lenta.

As leituras de pressão de turgescência na sonda de pressão foram na maioria das folhosas mensuradas maiores que com o Wiltmeter<sup>®</sup>. Para alface tipo americana a declividade foi de 1,08 ( $R^2 = 84,9\%$ ); crespa: 1,02 ( $R^2 = 84,7\%$ ); lisa: 0,94 ( $R^2 = 86,0\%$ ); para couve: 1,18 ( $R^2 = 95,4\%$ ) e chicória: 1,43 ( $R^2 = 95,4\%$ ). Estes resultados foram coerentes com os fundamentos da técnica de aplanação (CALBO e NERY, 2001), segundo os quais a espessura das paredes celulares o teor de volumes gasosos intercelulares nos tecido influem na relação entre a pressão de aplanação, no caso obtida com o Wiltmeter<sup>®</sup>, e a pressão de turgescência celular, medida com a sonda de pressão.



**Figura 5.** Pressão de turgescência celular medida com sonda de pressão em função da leitura da firmeza com Wiltmeter<sup>®</sup> para alface (americana, crespa e lisa), couve e chicória.



**Figura 6.** Firmeza medida com o Wiltmeter<sup>®</sup> relacionada ao teor relativo de água para alface (americana, crespa e lisa), couve e chicória.

#### *Limiares de pressão de turgescência*

Os valores encontrados para os limiares de pressão de turgescência, considerando-se como padrão limiar o valor de 50% da pressão de turgescência máxima estimada no Wiltmeter<sup>®</sup> em folhas recém colhidas das folhosas estudadas nesta pesquisa, encontram-se relatados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Limiares de pressão de turgescência para alface (americana, crespa e lisa), couve e chicória.

Produto	Firmeza R=100% (kPa)	Limiar (1/2 firmeza) (kPa)	Teor relativo de água no Limiar %
Alface Americana	136,6	68,3	76,6
Crespa	127,6	63,8	84,7
Lisa	125,5	62,8	75,2
Couve	372,0	186,0	90,0
Chicória	303,0	151,5	86,9

#### *Validação Técnica*

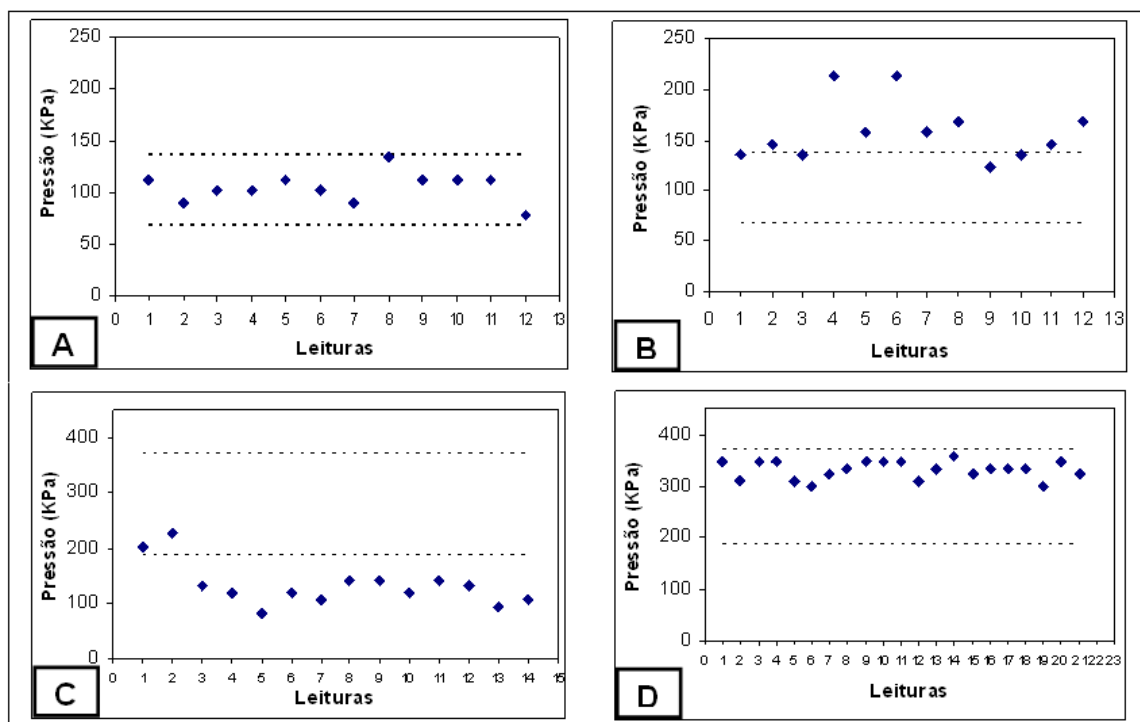
Os resultados para validação técnica estão apresentados por produtos inteiros (CEAGESP – Permissionário e Varejão; Supermercados e Sacolão) e produtos minimamente processados.

#### **CEAGESP-PERMISSIONÁRIO**

As medições na CEAGESP em permissionários demonstram que há alterações na qualidade dos produtos avaliados quanto ao frescor dependente da data de colheita (Figura 7). A alface americana colhida no mesmo dia (Figura 7B) apresentou níveis de hidratação maior à colhida no dia anterior (Figura 7A), enquanto a colhida no mesmo dia (Figura 7B) obteve valores que ficavam próximos ou acima do limiar superior de hidratação, a



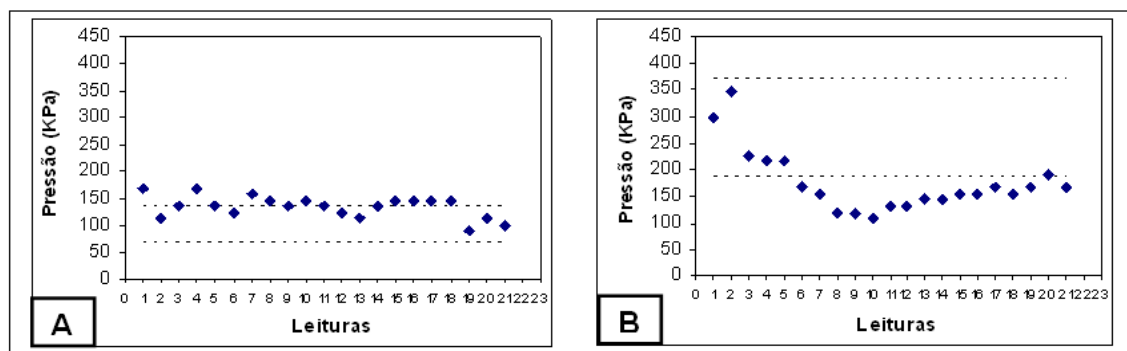
alface americana colhida no dia anterior (Figura 7A) apresentava níveis entre os valores inferior e superior de hidratação. Tem-se um sinal de boa qualidade do produto, todavia, a quantidade majoritária de valores nas medições próximos ao limiar inferior de hidratação, é indicativo de que em pouco tempo o produto não estaria mais adequado à comercialização. Para o produto couve-manteiga, a avaliação de turgescência utilizando produtos colhidos no mesmo dia e no dia anterior também apresentou resultados expressivos. Àquelas folhas que haviam sido colhidas no mesmo dia apresentavam níveis de hidratação entre os limiares inferior e superior, demonstrando uma boa qualidade (Figura 7D), entretanto que as colhidas no dia anterior ao da avaliação estavam na grande maioria abaixo no limiar inferior de hidratação (Figura 7C).



**Figura 7.** A. Alfaca Americana (Colhida no dia anterior e amostrada no Permissionário); B. Alfaca Americana (Fresca-Permissionário), C. Couve-Manteiga (Colhida dia anterior e amostrada no Permissionário), D. Couve-Manteiga (Fresca-Permissionário).

#### CEAGESP-VAREJÃO

Os produtos avaliados no “Varejão” da CEAGESP variaram quanto à qualidade (Figura 8). A alface americana apresentou altos níveis de hidratação (Figura 8A), estando acima do limiar superior de hidratação e apresentando apta para a comercialização. Para a couve (Figura 8B) a avaliação da turgescência não obteve resultados satisfatórios, as folhas avaliadas apresentaram-se grande parte com níveis de hidratação abaixo ao do limiar inferior, e, portanto o seu tempo de comercialização já seria limitado.



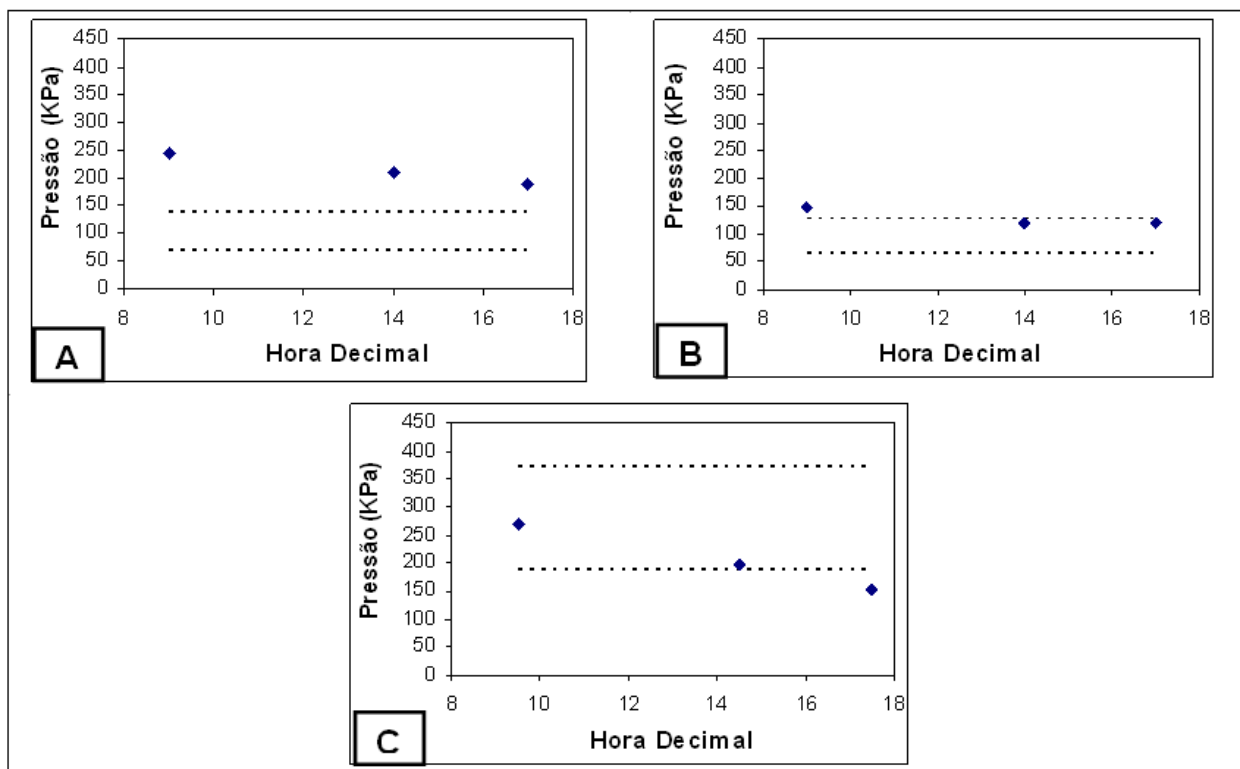
**Figura 8.** A. Alfaca Americana (Varejão); B. Couve (Varejão).

#### SUPERMERCADO E SACOLÃO

No supermercado e sacolão (quitanda) (Figuras 9 e 10), para produtos inteiros, foi apurado que a qualidade das

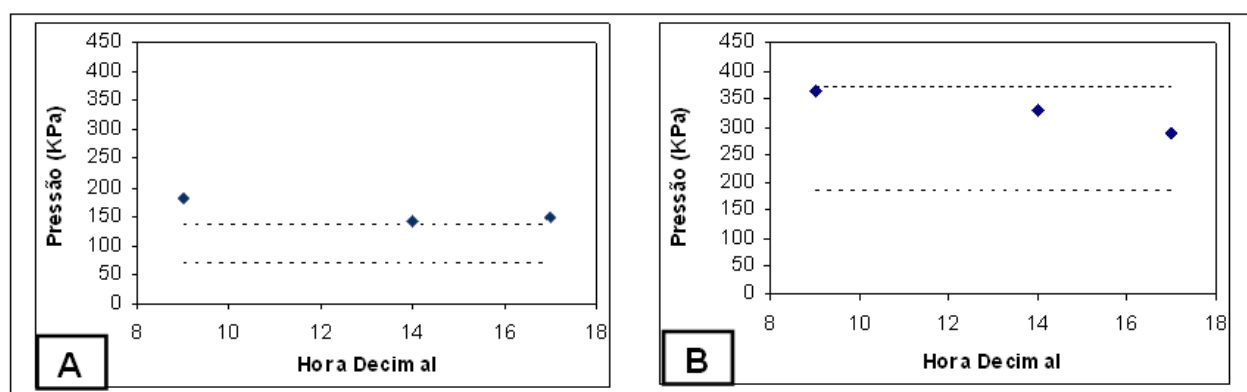


hortaliças foi sempre mais elevada no período da manhã (8:30h), que pode estar relacionado com a colheita mais recente do produto e também com temperaturas mais amenas. No período das 13:30h a tendência foi de baixar o teor de água nas folhas e para as 17:30h elas ou mantiveram a mesma qualidade do começo da tarde, ou se apresentavam ainda mais murchas. No período da tarde, esta perda de água pode estar relacionada com as temperaturas mais elevadas e também com o metabolismo do vegetal.



**Figura 9.** A. Alface Americana (Amostragem supermercado); B. Alface Crespa (Amostragem supermercado); C. Couve (Amostragem supermercado).

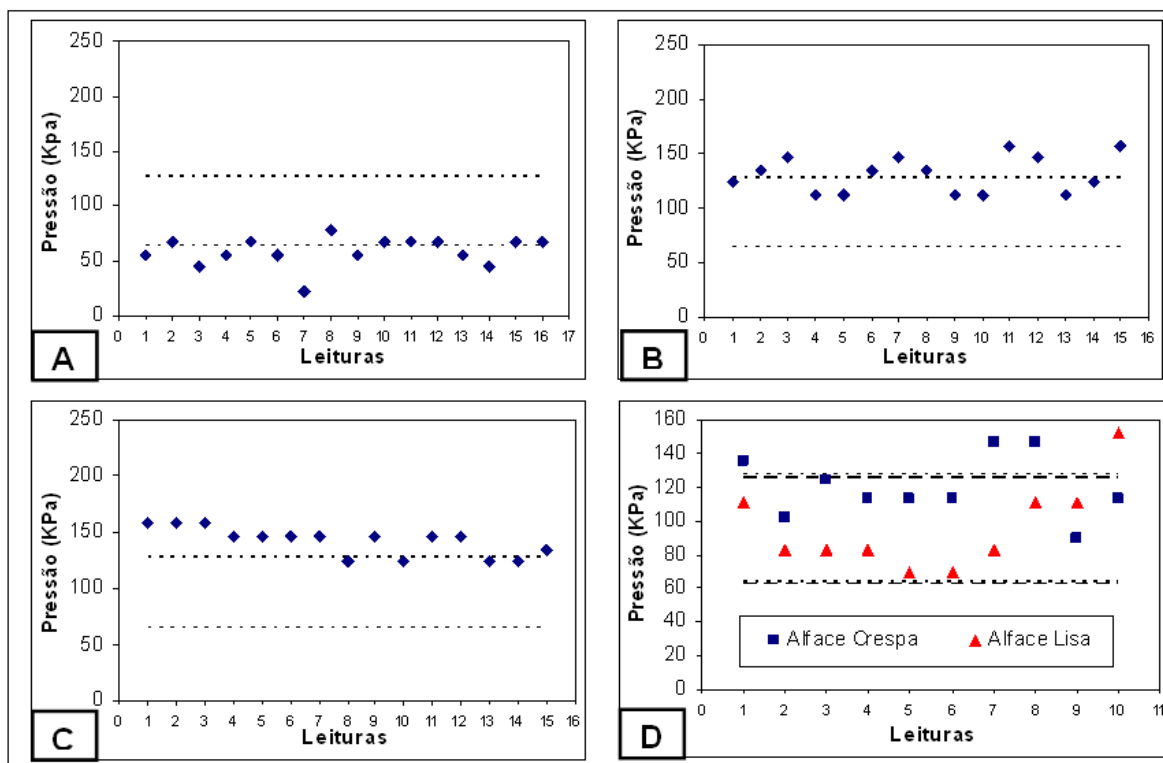
### SACOLÃO



**Figura 10.** A. Alface Americana – Amostragem Sacolão. B. Couve- Amostragem Sacolão.

### MINIMAMENTE PROCESSADOS

Foram avaliadas algumas marcas de produtos minimamente processados, adquiridos em diferentes supermercados (Figura 11). Algumas amostras obtiveram valores próximos e abaixo do limiar inferior de hidratação. Como foram avaliados produtos de diversas datas de embalagem, pode haver relação entre os valores baixos com a proximidade da data de vencimento informada na própria embalagem. Porém, foi constatado que a maioria das embalagens avaliadas apresentou um bom nível de turgescência nas folhas. Mesmo o *mix* de produtos como é o caso da salada romana (alface crespa e alface lisa) apresentou índices de turgescência adequados à comercialização.



**Figura 11.** A. Alfacedo Crespa (Minimamente processada- Marca 1); B. Alfacedo Crespa (Minimamente processada- Marca 2); C. Alfacedo Crespa (Minimamente processada- Marca 1 amostrada em dia diferente da anterior); D. Salada Romana (Minimamente processada - Marca 1).

#### Validação do Equipamento

Dentre os pontos positivos foram relacionadas 54 respostas e 12 pontos positivos diferentes. A facilidade de uso, a praticidade, o baixo custo e a possibilidade da medição sem a destruição da amostra foram as vantagens mais citadas dentre os avaliadores. Estes itens perfizeram 68,5% das respostas fornecidas.

Nos questionários recebidos, os avaliadores manifestaram aceitação ao equipamento e levantaram pontos positivos sobre a utilização deste nas medições de turgescência de produtos folhosos. A questão sobre os pontos positivos recebeu maior número de respostas e exaltou a simplicidade e vantagem econômica que este oferece. Essa reação positiva ao equipamento é importante e mostra a utilidade e a eficácia do Wiltmeter®.

Nos pontos negativos foram relacionadas 20 respostas, e 12 opiniões diferentes. Dentre essas respostas, a que dizia que o equipamento não apresentava nenhum ponto negativo foi a mais citada (35%). O aparelho não ser muito portátil e ser frágil também foram enumerados como pontos negativos deste equipamento e corresponderam a 10% das respostas cada um.

Houve boa aceitação dos avaliadores, grande parte declarou não ter pontos negativos no equipamento. Além do mais, outras respostas dadas para pontos negativos referem-se ao aprimoramento físico do equipamento e não a técnica nele envolvido.

As possíveis aplicações visualizadas pelos avaliadores receberam 33 opiniões, com 13 respostas diferentes. Destas respostas, as mais citadas foram: a aplicação para avaliação da firmeza de frutos e folhas pela turgescência e avaliação pós-colheita, sendo responsáveis por 48,5% das opiniões emitidas. Também foram levantados itens como seleção de material genético, avaliação de produtos minimamente processados, controle de irrigação, entre outros.

Foram mencionadas 15 sugestões para o Wiltmeter®, com 10 respostas diferentes. A maioria das sugestões refere-se ao aprimoramento físico do equipamento. A sugestão mais citada foi a do aparelho ter componentes digitais para a visualização da leitura obtida (20%). A padronização das amostras e a redução do tamanho do aparelho corresponderam juntas a 26,6% das sugestões oferecidas. Ainda, o equipamento estar disponível para o uso imediato foi uma reivindicação de aproximadamente 13% dos avaliadores. A citação da possibilidade de

de estar disponível para o uso, indica que há o desejo que este possa ser utilizado numa escala maior, e que os usuários acessem esta nova tecnologia.

Os avaliadores apontaram 17 respostas quanto às dúvidas sobre o equipamento e citaram 10 itens diferentes. Destes itens o mais citado foi não ter nenhuma dúvida, com 47% do total de respostas. Os demais itens do questionário foram citados por uma única vez.

O Wiltmeter® obteve uma boa avaliação por parte dos usuários e se mostrou eficiente nas medições. Com estas respostas recebidas, o bom funcionamento do aparelho para os fins que se destina foi confirmado, pois a avaliação da qualidade pós-colheita das folhosas foi a mais vislumbrada pelos avaliadores. A utilização do Wiltmeter® tanto em pesquisas científicas, como na cadeia de produção e comercialização de folhosas foram itens observados nas respostas.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo indicam que o Wiltmeter® é um instrumento adequado para avaliação objetiva e rápida da qualidade de folhosas, o que é um progresso em relação aos métodos táteis subjetivos atualmente utilizados em todo o mundo. Adicionalmente, trata-se de um instrumento que gera resultados tão próximos aos obtidos com a sonda de pressão que o qualifica como um instrumento sucedâneo e mais prático que pode ser utilizado em estudos de pós-colheita e de ecofisiologia vegetal nos quais a aplicação direta da sonda de pressão seria impossível ou demasiadamente trabalhosa.

## REFERÊNCIAS

- CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D.; PESSOA, J. D. C. Medida da firmeza de folhas com Wiltmeter®: fundamento e método. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48., 2008, Maringá. **Anais eletrônicos...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2008. p.1-4.
- CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D.; PESSOA, J. D. C. A Leaf Lamina Compression Method for Estimating Turgor Pressure. **HortScience**, Alexandria, v. 45, n. 3, p. 418-423, 2010.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, n. 1, p. 14-18, 1995.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Compression induced intercellular shaping for some geometric cellular lattices. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 44, p. 41-48, 2001.
- CALBO, A. G.; PESSOA, J. D. Thermoelastic pressure probe to test the cohesion theory: Liquid expandability, compressibility and pressure measurements. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 11, n. 3, p. 129-136, set./dez., 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Brasília, DF). Adonai Gimenes Calbo, José Dalton Cruz Pessoa. **Applanation system for evaluation of cell pressure dependent firmness on leaves and soft organs flat face segments**. WO2009/0009850, 16 jul. 2008, 22 jan. 2009.
- CEAGESP. **Varejo**. c2004. Disponível em: <<http://www.ceagesp.gov.br/varejo>>. Acesso em: 14 mar. 2011.
- HEATHCOTE, D. G.; ETHERINGTON, J. R.; WOODWARD, F. I. An instrument for non-destructive measurements of the pressure potential (Turgor) of leaf cells. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 30, p. 811-816, 1979.
- HUSKEN, D.; STEUDLE, E.; ZIMMERMANN, V. Pressure probe technique for measuring water relations in higher plants. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 61, p. 158-163, 1978.
- KAYS, J. S. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 453 p.
- NEWMAN, J. M.; HILTON, H. W.; CLIFFORD, S. C.; SMITH, A. C. The mechanical properties of lettuce: A comparison of some agronomic and postharvest effects. **Journal of Materials Science**, Norwell, v. 40, p. 1101-1104, 2005.
- SLAVIK, B. **Methods of studying plant water relations**. New York: Springer-Verlag, 1974. 449 p.
- TURNER, N. C.; SOBRADO, M. A. Evaluation of a non-destructive method for measuring turgor pressure in Helianthus. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 34, p. 1562-1568, 1983.





---

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*

*Embrapa Instrumentação*

*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP*

*Telefone: (16) 2107 2800 - Fax: (16) 2107 2902*

*[www.cnpdia.embrapa.br](http://www.cnpdia.embrapa.br) - [sac@cnpdia.embrapa.br](mailto:sac@cnpdia.embrapa.br)*

**Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

